



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 10 254 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
H 04 B 10/18
G 02 B 5/30
G 02 B 6/10

②1 Aktenzeichen: P 43 10 254.9
②2 Anmeldetag: 30. 3. 93
④3 Offenlegungstag: 6. 10. 94

DE 43 10 254 A 1

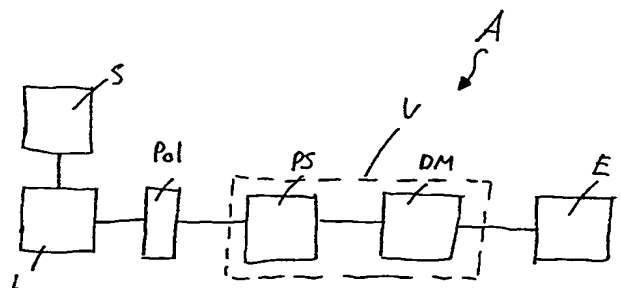
⑦1 Anmelder:
Alcatel SEL Aktiengesellschaft, 70435 Stuttgart, DE

⑦4 Vertreter:
Graf, G., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 70563 Stuttgart

⑦2 Erfinder:
Bülow, Henning, Dr.-Ing., 7140 Ludwigsburg, DE;
Otterbach, Jürgen, Dipl.-Ing., 7250 Leonberg, DE

⑤4 Optische Reduktion nichtlinearer optischer Amplitudenverzerrungen

⑤7 Besonders bei der analogen optischen Breitbandübertragung (CATV) werden hohe Anforderungen an die Nichtlinearität des optischen Signals gestellt. Es ist bekannt, das Modulationssignal elektrisch vorzuverzerren oder das im Empfänger empfangene Signal elektrisch zu entzerren oder eine Verzerrung durch die Verwendung von Bauelementen mit linearen Kennlinien zu verhindern. Bei der Erfindung werden nichtlineare Amplitudenverzerrungen von optischen Signalen aus polarisiertem, wellenlängenmoduliertem Licht auf rein optische Weise durch die Anordnung eines Polarisationsstellers (PS) und eines doppelbrechenden Mediums (DM) reduziert. Das Signal wird dabei über den Polarisationssteller (PS) und das nachfolgend angeordnete doppelbrechende Medium (DM) einem Empfänger (E) zugeführt. Das Frequenzspektrum des elektrischen Ausgangssignals des Empfängers (E) wird analysiert und durch die Variation der Polarisationssebene des Lichtes im Polarisationssteller (PS) minimiert.



DE 43 10 254 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Reduktion nichtlinearer Amplitudenverzerrungen eines optischen Signals gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Eine solche Vorrichtung ist z. B. aus der Druckschrift Frequenz 38 (1984)9, Seiten 206 bis 212 unter dem Titel "Linearization of Broadband Optical Transmission Systems by Adaptive Predistorsion" bekannt. Bei der bekannten Vorrichtung wird das elektrische Modulationssignal, mit dem der optische Träger im Laser moduliert wird, in der Weise einer elektrischen Vorverzerrung unterworfen, daß die Nichtlinearität der Ausgangsleistung/Laserstrom-Kennlinie durch die elektrische Vorverzerrung möglichst kompensiert wird. Es ist auch bekannt, daß eine Signalverzerrung grundsätzlich auch im elektrischen Bereich eines optischen Empfängers reduziert werden kann.

Solche bekannte Vorrichtungen finden ihre Anwendung in der optischen Übertragungstechnik, insbesondere bei der Übertragung analoger Signale, bei denen eine besonders hohe Anforderung an die lineare Übertragung der Amplitudenwerte gestellt wird.

Für ein Fernsehvielfachkanalsystem, in der Bundesrepublik Deutschland im sogenannten PAL B/G-Format mit 35 Fernsehkanälen und 30 UKW-Rundfunkkanälen, wird z. B. vom Netzbetreiber Deutsche Bundespost Telekom ein Wert für Verzerrungen gefordert, dessen Pegel weniger als -65 dB unter dem Pegel der Bildträger liegt.

Solche Verzerrungen entstehen hauptsächlich aufgrund der Nichtlinearität der im Übertragungssystem verwendeten Bauelemente. Begrenzend für die Linearität der Übertragung ist derzeit die in jedem optischen Sender als Lichtquelle verwendete Laserdiode. Sie hat eine leichte Krümmung der Ausgangsleistung/Laserstrom-Kennlinie im Arbeitspunkt und verursacht dadurch eine Nichtlinearität zweiter Ordnung, die nach der Signalumwandlung vom optischen Signal in ein elektrisches Signal in einem Empfänger des Übertragungssystems üblicherweise als Klirrprodukte zweiter Ordnung (Composite Second Order) gemessen werden.

Im Bestreben, solche Verzerrungen im Übertragungssystem zu minimieren, ist der Schrift IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique, Vol. 38 Nr. 5, Mai 1990, Seiten 483-493 als Ergebnis zu entnehmen, daß befriedigende Ergebnisse mit guten Lasern, d. h. mit Lasern, die im Arbeitspunkt eine möglichst lineare P/I-Kennlinie aufweisen, erzielbar sind. Diese Linearität ist allerdings technisch nicht einfach zu erzielen, da sie besonders hohe Ansprüche an die Laserdiode stellt.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, diese unerwünschten Nichtlinearitäten auf technisch einfache Weise zu reduzieren.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale der Ansprüche 1, 9 und 10 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind den abhängigen Ansprüchen zu entnehmen. Ausführungsbeispiele der Erfindung sind anhand der Fig. 1 bis 5 beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 die schematische Abbildung eines Ausführungsbeispiels,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel mit mehrstufiger Reduktion,

Fig. 3 ein diskret aufgebautes Ausführungsbeispiel,

Fig. 4 ein faseroptisch aufgebautes Ausführungsbeispiel, und

Fig. 5 das Frequenzspektrum eines analysierten Signals.

In der Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung schematisch abgebildet. Eine Vorrichtung V zur Reduktion von Nichtlinearitäten ist dabei in der Übertragungsstrecke A eines Übertragungssystems angeordnet. Die Übertragungsstrecke A weist eine direkt modulierte Laserdiode L zur Erzeugung eines optischen, amplitudenmodulierten Signals auf. Der Eingang der Laserdiode L ist mit einer elektrischen Signalquelle S verbunden, in der das elektrische Modulationssignal aufbereitet wird. Der optische Ausgang der Laserdiode L ist über die Vorrichtung V zur Reduktion von nichtlinearen Amplitudenverzerrungen mit einem optischen Empfänger E, z. B. einer Fotodiode, verbunden.

In der Laserdiode L tritt bei der Erzeugung des amplitudenmodulierten optischen Signals der Chirp-Effekt auf, d. h. bei der Amplitudenmodulation tritt gleichzeitig eine vom jeweiligen Amplitudenwert abhängige Frequenz (Wellenlängen) - Modulation des optischen Signals auf. Gleichzeitig erfährt das optische Signal durch die nichtlineare Kennlinie zwischen Modulationsstrom und Ausgangsleistung der Laserdiode L eine nicht erwünschte nichtlineare Verzerrung, die durch die nachfolgend angeordnete Vorrichtung V zur Reduktion von nichtlinearen Verzerrungen idealerweise komplett kompensiert, in der Praxis aber nur reduziert wird. Zwischen der Laserdiode L und der Vorrichtung V ist in Fig. 1 ein das optische Signal polarisierendes Element Pol eingezeichnet, das aus mehreren polarisierenden Teilen, unter anderem auch aus Steckerverbindungen mit schrägen Steckerendflächen, zwischen zwei optischen Faser-Lichtwellenleitern oder einem vor dem Laserausgang angeordneten sogenannten Brewsterfenster gebildet sein kann.

In der Vorrichtung V zur Reduktion von nichtlinearen Amplitudenverzerrungen befindet sich im einfachsten Fall ein Polarisationssteller PS und ein doppelbrechendes Medium DM. Das doppelbrechende Medium DM besitzt transversal zur Ausbreitungsrichtung, orthogonal betrachtet, zwei unterschiedliche Brechungsindizes n_0 und n_{90} , die dazu führen, daß das ausbreitende Licht für unterschiedliche Polarisationszustände auch unterschiedliche optische Weglängen besitzt. Durch geeignete Einstellung der Polarisationsrichtung des Lichtes im Polarisationssteller PS verändern sich die Polarisations-transformationseigenschaften und ermöglichen somit den Abgleich der nichtlinearen Verzerrung auf einen minimalen Wert.

Da sich für eine reale Übertragungsstrecke zwischen Laserdiode L und Empfänger E, mit allen verwendeten Bauelementen, die optimale Einstellung des Polarisationsstellers PS theoretisch nicht erfassen läßt, z. B. wegen Polarisationsdrehungen im optischen Verstärker, Spleißverbindungen, verwendete Faser-Lichtwellenleiter mit allen Biegungen und Krümmungen, die ein solcher Wellenleiter erfährt, erfolgt die Einstellung des Polarisationsstellers PS über die Analyse des Frequenzspektrums des aus dem Empfänger E gewonnen elektrischen Signals. Mit dieser Einstellungsmethode lassen sich nichtlineare Verzerrungen, mit denen das Übertragungssignal behaftet ist, unabhängig von der Entstehung der Verzerrung, auf ein Minimum reduzieren. Ein solches Frequenzspektrum ist in Fig. 5 abgebildet. Die Fig. 5 zeigt die normierte Amplitude eines mit Verzerrungen zweiter Ordnung behafteten Spektrums über die Frequenz aufgetragen. Der Bildträger (Signal) liegt bei 48.250 MHz, die beiden durch Verzerrungen zweiter

Ordnung erzeugten Störsignale (CSO) bei $f = 48,0$ MHz und bei $f = 49,0$ MHz. Die beiden durch Verzerrungen hervorgerufenen Störsignale zeigen Amplitudenwerte, die größer als der eingezeichnete Schwellwert $SW = -65$ dB sind, d. h. deren Pegel liegt um weniger als -65 dB unter dem Wert des Bildträgers. Durch geeignete Einstellung des Polarisationsstellers PS sind die durch Klirren zweiter Ordnung hervorgerufenen Störsignale veränderbar und somit auch minimierbar. Zur Analyse des Frequenzspektrums kann als Spektrum-Analyser z. B. der Analyzer der Firma Anritsu mit der Bezeichnung MS611A verwendet werden. Der Spektrum-Analyzer kann nach der Minimierung der Verzerrung wieder entfernt werden.

Zur Optimierung der Reduktion der nichtlinearen Amplitudenverzerrungen können auch mehrere Polarisationssteller PS und/oder auch mehrere doppelbrechende Medien auch alternierend, hinsichtlich der Signalausbreitung hintereinander geschaltet werden.

In Fig. 2 sind beispielhaft mehrere, in einem optischen Übertragungssystem typischerweise vorhandene, polarisierende Elemente Pol schematisch abgebildet. Eine das optische Signal erzeugende Laserdiode L weist eine um den Brewsterwinkel geneigte Austrittsfläche BF auf. Auch ohne geneigte Austrittsfläche BF erzeugt eine Laserdiode in der Regel Licht mit einer bevorzugten Polarisationsrichtung. Eine Laserdiode kann somit in der Regel schon für sich betrachtet als polarisierendes Element Pol angesehen werden. Der Laserdiode L ist eine erste Vorrichtung V_1 zur Reduktion von nichtlinearen Verzerrungen nachgeschaltet. An mehreren Stellen des optischen Übertragungsweges können sich anschließend optische Spleißverbindungen befinden, bei denen die Faserendflächen schräg angespleißt sind. Der Spleißverbindung K ist eine zweite Vorrichtung V_2 zur Reduktion von nichtlinearen Verzerrungen nachgeschaltet. Der nachfolgende Empfänger E besitzt in der Regel eine reflexionsarme Lichtwellenleiter-Dioden-Kopplung zur Vermeidung von Mehrfachreflexionen. Hierbei ist die Lichtwellenleiterendfläche schräg gebrochen und zur Dioden-Lichteintrittsoberfläche gekippt. Diese Kopplung zeigt ebenfalls eine polarisierende Wirkung.

Ein erstes Ausführungsbeispiel zum Aufbau einer Vorrichtung V zur Reduktion von nichtlinearen Verzerrungen ist in Fig. 3 abgebildet. Das polarisierte nichtlinear verzerrte Licht ist über einen Faser-Lichtwellenleiter F_1 auf eine Abbildungsoptik in Form einer Sammellinse L_1 und anschließend auf einen oder mehrere doppelbrechende Kristalle PS geführt. In einer weiteren Abbildungsoptik z. B. einer zweiten Linse L_2 wird das Licht in den Kern eines zweiten Faser-Lichtwellenleiters F_2 gebündelt. Durch den üblicherweise geringen Kerndurchmesser des ersten Faser-Lichtwellenleiters F_1 trifft das Licht stark divergierend aus dem Faser-Lichtwellenleiter F_1 aus und wird dabei durch die erste Linse L_1 parallelisiert. Zwischen der ersten Linse L_1 und der zweiten Linse L_2 sind der Polarisationssteller PS und ein oder mehrere doppelbrechende Kristalle als doppelbrechendes Medium DM angeordnet. Das doppelbrechende Medium DM ist dabei vorzugsweise derart dimensioniert, daß das hindurchtretende Licht z. B. eine Polarisationsdispersion von 20 ps erfährt, d. h. der Laufzeitunterschied der beiden Polarisierungen beträgt im doppelbrechenden Medium DM 20 ps. Entsprechend des Zustandes des Lichtes kann die Polarisationsdispersion durch Hinzufügen oder Wegnehmen von doppelbrechenden Kristallen verändert werden. Es können auch doppelbrechende Medien DM mit z. B. elektrisch

oder magnetisch beeinflussbaren Brechungsindizes verwendet werden. Auf die zweite Linse L_2 kann z. B. dann verzichtet werden, wenn das doppelbrechende Medium DM durch seine Formgebung, z. B. ein Prisma, als Abbildungsoptik wirkt.

In Fig. 4 ist ein zweites Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung V zur Reduktion von nichtlinearen Verzerrungen abgebildet. Die Vorrichtung V besteht dabei aus einem faseroptischen Polarisationssteller PS, wie er z. B. aus der Schrift Electronics Letters, 25. September 1980, Vol. 16 Nr. 20, Seiten 778—780 bekannt ist, und einem doppelbrechenden Faser-Wellenleiter DF als doppelbrechendes Medium. Eine Polarisationsdispersion von 20 ps kann dabei z. B. durch einen polarisationserhaltenden Faser-Wellenleiter mit einer Länge von 5 m erreicht werden. Als doppelbrechendes Medium kann aber auch ein für andere Zwecke bestimmter Faser-Wellenleiter, z. B. der Faser-Wellenleiter eines Faserverstärkers, verwendet werden, da die Faser-Wellenleiter üblicherweise als Spule aufgewickelt sind und daher leicht doppelbrechend wirken.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Reduktion von nichtlinearen Amplitudenverzerrungen eines amplitudenmodulierten optischen Signals, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger polarisiert ist, die Trägerfrequenz von den Amplitudenwerten abhängig ist und Mittel zur optischen Reduzierung der nichtlinearen Amplitudenverzerrungen, unter Ausnutzung dieser Abhängigkeit, vorhanden sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie wenigstens ein das optische Signal polarisierendes Element (Pol), wenigstens einen Polarisationssteller (PS) und wenigstens ein optisch doppelbrechendes Element (DM) enthält, daß wenigstens einem doppelbrechenden Element (DM) wenigstens ein Polarisationssteller (PS) und diesem Polarisationssteller (PS) oder diesen Polarisationsstellern wenigstens ein polarisierendes Element (Pol) vorangestellt ist und daß die nichtlinearen Verzerrungen durch geeignete Einstellung des Polarisationsstellers (PS) wenigstens teilweise kompensierbar sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das doppelbrechende Medium (DM) ein doppelbrechender Faser-Lichtwellenleiter ist und wenigstens einen Teil der optischen Übertragungsstrecke darstellt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das doppelbrechende Medium (DM) der Faser-Wellenleiter eines optischen Faserverstärkers ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das doppelbrechende Medium (DM) ein doppelbrechender Kristall ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Signal wenigstens teilweise in einem Faser-Lichtwellenleiter geführt ist, das Licht zu einem Strahl aufgeweitet ist und der doppelbrechende Kristall im aufgeweiteten Strahlengang angeordnet sind.
7. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Polarisationssteller (PS) und mehrere doppelbrechende Medien (DM) jeweils abwechselnd in Reihe geschaltet sind.
8. Optischer Sender mit einer Vorrichtung nach An-

spruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß er als Signalquelle eine direkt modulierte Laserdiode (L) aufweist.

9. Optisches Übertragungssystem mit einer Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es im Teilnehmerbereich mehrere optische Empfänger (E) aufweist und das wenigstens in einem optischen Empfänger eine Vorrichtung (V) zur Reduzierung nichtlinearer Verzerrungen angeordnet ist.

10. Verfahren zur Reduzierung der nichtlinearen Amplitudenverzerrung eines optischen Signals mit einer Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Signal optisch-elektrisch gewandelt wird, die nichtlinearen Verzerrungen gemessen werden und die Polarisationsrichtung des Polarisationsstellers (PS) so lange variiert wird, bis die nichtlinearen Verzerrungen minimal sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1

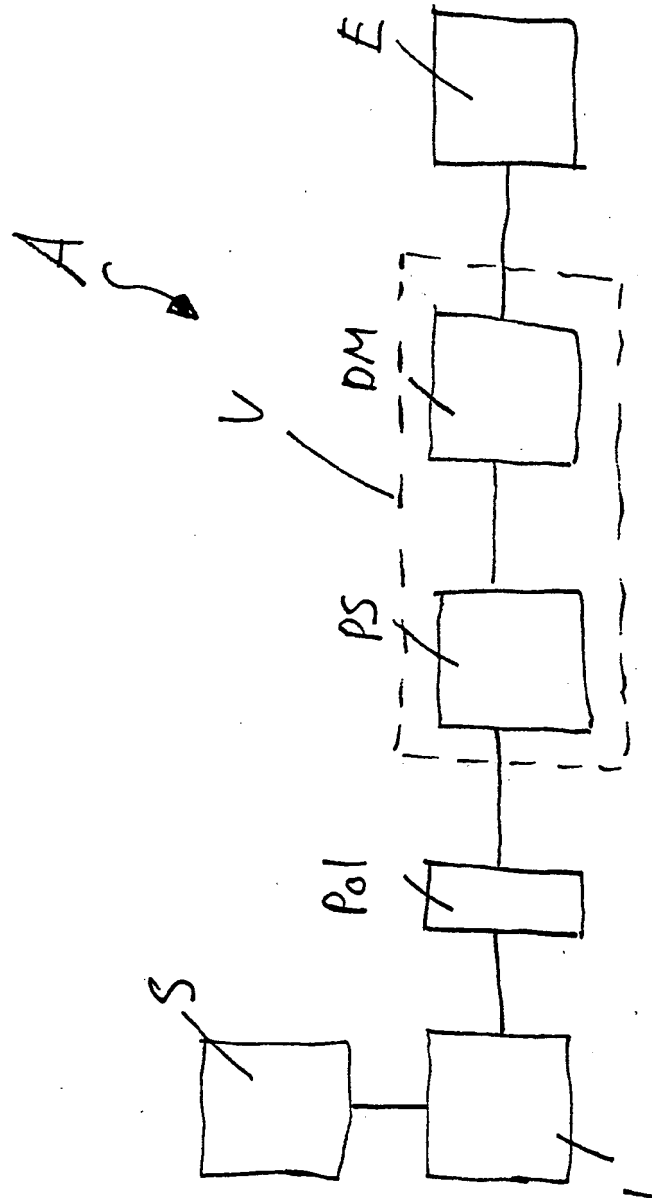


Fig. 2

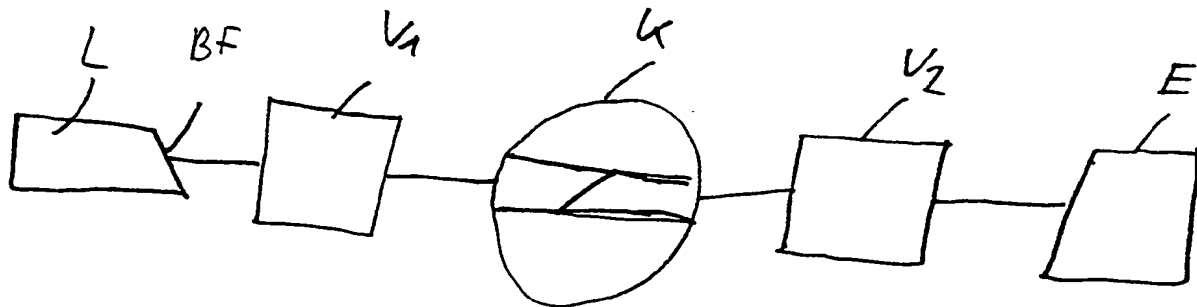


Fig. 3

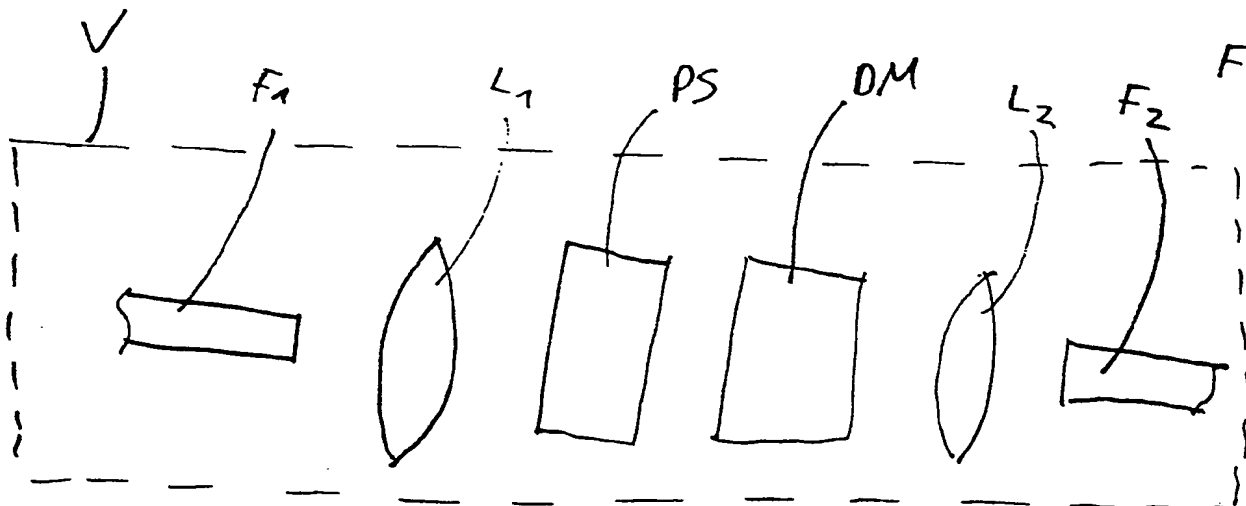


Fig. 4

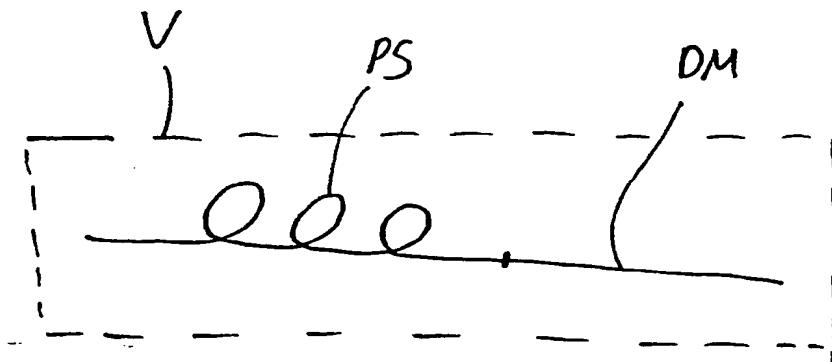


Fig. 5

